

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТВОДА  
ОСТАТОЧНЫХ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЙ ОБЛУЧЁННЫХ  
ТОПЛИВНЫХ СБОРОК В ШАХТЕ-ХРАНИЛИЩЕ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА**

**INVESTIGATION OF THE EFFICIENCY OF RESIDUAL HEAT  
REMOVAL FROM THE IRRADIATED FUEL ASSEMBLIES IN  
THE RESEARCH REACTOR STORAGE PIT**

Литвинов Д. Н., Севастьянов М. М., Шумков Д. Е.,  
Климова В. А., Ташлыков О. Л.  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург  
devlitvinov@icloud.com

Litvinov D. N., Sevastyanov M. M., Shumkov D. E.,  
Klimova V. A., Tashlykov O. L.  
Ural federal university, Ekaterinburg

**Аннотация:** В работе описано исследование эффективности отвода тепловыделений облученных тепловыделяющих сборок (ОТВС), выгруженных из активной зоны реактора в шахту-хранилище, за счёт естественной циркуляции воды при обесточивании.

**Abstract:** It is described the investigation of the efficiency of residual heat removal from the irradiated fuel assemblies removed from the reactor core to the storage pit, due to the natural circulation of water, with deenergizing.

**Ключевые слова:** бассейн выдержки; конвекция; ОТВС; теплоноситель; теплообменник; исследовательский ядерный реактор; Solidworks.

**Key words:** *spent fuel pool; convection; spent fuel assembly; coolant; heat exchanger; research nuclear reactor; Solidworks.*

Шахта-хранилище предназначена для хранения и охлаждения ОТВС, в циркулирующем теплоносителе.

Существуют два эксплуатационных режима работы шахты-хранилища:

- режим нормальной эксплуатации, (циркуляция теплоносителя осуществляется по большому контуру).
- режим с максимальным принудительным охлаждением теплоносителя – функционирование шахты-хранилища ОТВС осуществляется по малому (среднему) контуру.

Бак шахты-хранилища ОТВС представляет собой корпус прямоугольной формы, внутренние размеры которого составляют 805×1747 мм, высота 5250 мм. Внутри бака расположены стационарный и подвижный (при необходимости) сепараторы [1].

Целью исследования является определение эффективности отвода тепла за счёт естественной циркуляции воды в шахте-хранилище, при отключенных насосах и вентиляции.

Установлены следующие задачи исследования:

- построить модель бака шахты-хранилища ОТВС;
- выполнить теплогидравлический расчёт по модели;
- удостовериться в безопасности работы шахты-хранилища ОТВС.

Исследование проводилось в программном комплексе системы автоматизированного проектирования SolidWorks и его прикладном модуле FlowSimulation, который позволяет рассчитывать движение текучих сред (газа или жидкости) внутри моделей, исследовать обтекание моделей потоком текучей среды, решать задачи теплообмена за счет конвекции и излучения. Расчеты осуществляются методами вычислительной гидродинамики (CFD), что обеспечивает высокую степень достоверности получаемых результатов [2].

Сначала было произведено построение трёхмерной модели основного оборудования, повторяющей размеры существующего объекта. При построении модели для упрощения упразднены элементы шахты-хранилища, не влияющие на естественную циркуляцию теплоносителя.

При моделировании приняты следующие граничные условия:

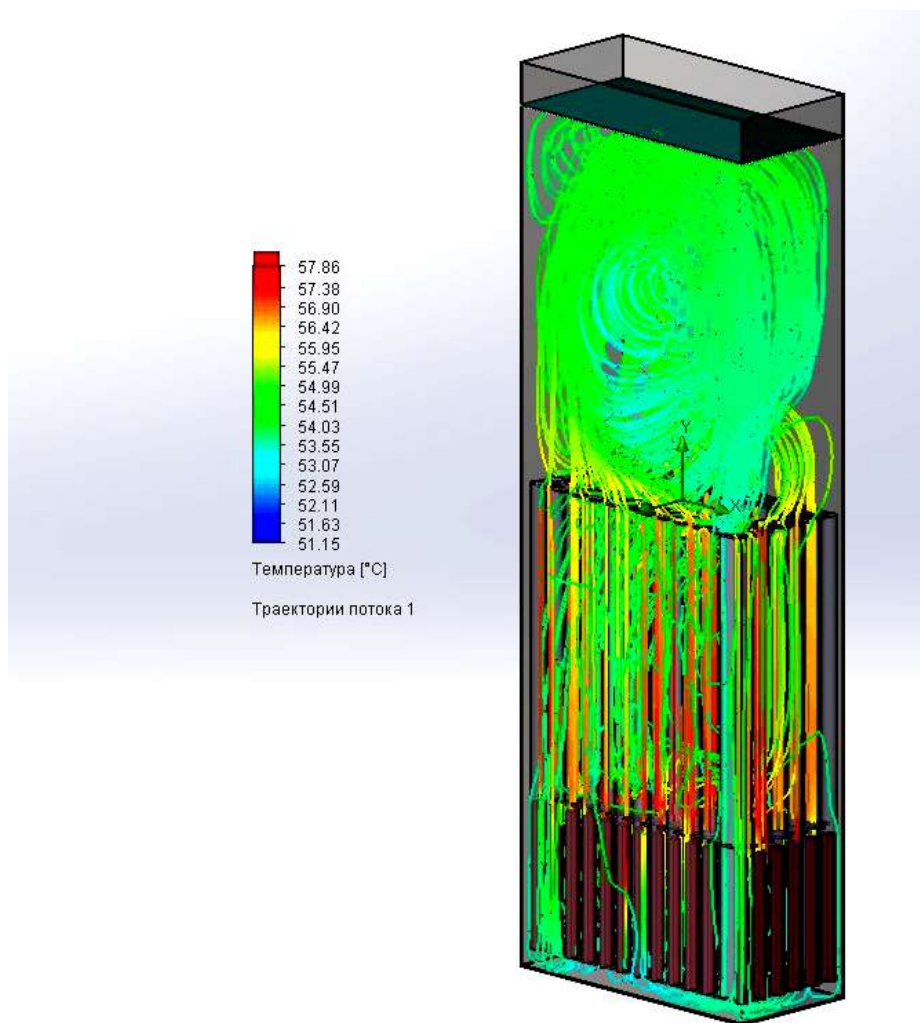
- введено условие «реальная стенка», позволяющее рассчитать теплообмен двух сред;
- на границе сред теплоноситель-воздушная область задана температура воздуха 30 °С (соответствует действительному значению в помещении при отключенной вентиляции);
- суммарное тепловыделение ОТВС составляет  $\approx 273$  кВт (принято для выгрузки всех сборок из реактора).

В результате моделирования было определено, что на временной отметке 211 сбыла достигнута температура 99,63 °С в точке, расположенной на верхней грани одной из ТВС.

Наличие большого объема воды в шахте-хранилище позволяет аккумулировать большее количество теплоты и обеспечить надежное охлаждение ОТВС в течение времени, необходимого для включения источников надежного питания и подключения насосов расхолаживания. Большая площадь поверхности раздела воды и воздуха также способствует отводу теплоты за счет испарения. Увеличение разности давлений и температур между нижней и верхней точками теплоносителя в шахте увеличивает степень естественной циркуляции, турбулентность потоков (рисунок).

Таким образом, с помощью автоматизированного пакета SW FS был проведен анализ естественной циркуляции теплоносителя в шахте-хранилище ОТВС ИЯР ИВВ-2М, в ходе которого было смоделировано изменение температуры теплоносителя сначала обесточивания.

Для поддержания стабильного уровня теплоносителя в ШХ используется бак подпитки реактора с трубопроводом подпитки в бак шахты-хранилища ОТВС, арматурой с ручным приводом для подачи химобессоленной воды в бассейн шахты.



Картина завихрений (траекторий потоков) теплоносителя при естественной конвекции

В течение 10–15 минут персонал должен наладить энергоснабжение или подключить аварийные дизель-генераторы и обеспечить надежный отвод тепла от шахты-хранилища.

#### Список использованных источников

1. Шумков Д. Е., Климова В. А., Ташлыков О. Л., Селезнев Е. Н. Повышение надежности охлаждения облученных топливных сборок ИЯР ИВВ-2М в шахте-хранилище // Физика. Технологии. Инновации ФТИ-2017 (15–19 мая 2017 г.): тезисы докладов IV Международной молодежной научной конференции (Секции 3, 4, 5). Екатеринбург : УрФУ, 2017. С. 122–123.
2. Алямовский А. А. Solidworks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации. – М. : ДМК Пресс, 2015. 562 с.